

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Dario Rezo

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing.

Student:

Dario Rezo

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Posebno se zahvaljujem mentoru rada, izv. prof. dr. sc. Davoru Ljubas, na ukazanoj stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovoga rada, te dr. sc. Maji Zebić-Avdičević, dipl. ing. i laborantu Marku Skozrit koji su mi bili desna ruka tijekom izvedenih testiranja u laboratoriju.

Također jedno veliko hvala mojoj obitelji na pruženoj bezuvjetnoj podršci tijekom cijelog mog akademskog obrazovanja.

Dario Rezo



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomatske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Dario Rezo** Mat. br.: 0035191220

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Određivanje plamišta i gorišta motornih ulja razrijeđenih gorivom**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Determination of flash point and fire point of the oils diluted with fuel**

Opis zadatka:

Paralelno s razvojem i usavršavanjem motora s unutarnjim izgaranjem postavljani su i sve složeniji zahtjevi prema motornim uljima kako bi motori mogli razvijati sve veće snage, uz više temperature podnositi veća opterećenja i imati što dulje intervale izmjene ulja. Da bi motor ispravno funkcionirao, motorno ulje mora ispuniti pet osnovnih zadaća: podmazivanje, odvođenje topline, održavanje kompresije, zaštitu od korozije i održavanje čistoće motora. Istovremeno, iz više razloga gorivo u Ottovim i Dieselovim motorima ne izgara u potpunosti. Veći dio neizgorenog goriva odlazi kroz ispušni sustav, ali jedan dio se probije i u kućište motora gdje se miješa s motornim uljem.

Razrijeđenjem ulja neizgorenim gorivom mijenjaju se svojstva ulja i potrebno ih je pratiti prikladnim analizama. Među potrebnim analizama je i utvrđivanje *plamišta* (engl. flash point) mazivog ulja, tj. one temperature na kojoj pod utvrđenim uvjetima ispitivanja dolazi do prvog zapaljenja smjese uljne pare – zrak, a da pri tom ne dolazi do daljnjeg izgaranja. Na nešto višim temperaturama od plamišta određuje se i *gorište* (engl. fire point), temperatura pri kojoj uzorak ulja izgara plamenom u trajanju od najmanje 5 sekundi.

Kroz ovaj rad potrebno je:

- razviti metodologiju namješavanja različitih udjela goriva u motorna ulja, počevši od načina odmjeravanja do miješanja i čuvanja uzoraka,
- proučiti i primijeniti standardizirane metode određivanja plamišta i gorišta motornog ulja,
- provesti pokuse s mineralnim i sa sintetičkim motornim uljem i za svako od navedenih ulja odrediti maksimalnu prihvatljivu količinu goriva (motorni benzin Eurosuper 95 i dizelsko gorivo Eurodizel) koja može dospjeti u motorno ulje, a da se ono još uvijek može koristiti.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok prodaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.


Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:


Izv. prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS DIJAGRAMA	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1 UVOD.....	IX
2 MAZIVA.....	1
2.1 POVIJESNI PREGLED PRIMJENE MAZIVA.....	1
2.2 ADITIVI.....	2
2.3 PODJELA I VRSTE MAZIVA	2
2.4 KAPLJEVITA MAZIVA (ULJA)	3
2.4.1 Mineralna maziva ulja	3
2.4.2 Podjela i vrste sintetskih (sintetičkih) mazivih ulja	3
2.5 KLASIFIKACIJA ULJA ZA PODMAZIVANJE	6
2.6 MOTORNA ULJA.....	6
2.6.1 Klasifikacija motornih ulja prema viskoznosti (SAE klasifikacija)	7
2.6.2 Klasifikacija prema radnim karakteristikama (API klasifikacija)	10
2.6.3 ACEA klasifikacija	12
2.6.4 Ostale klasifikacije.....	14
2.7 PLAMIŠTE I GORIŠTE	14
3 EKSPERIMENTALNI DIO	16
3.1 UREĐAJI.....	16
3.2 SMJESE GORIVA I MAZIVIH ULJA	16
3.3 POSTUPAK PRIPREME SMJESE ULJE – GORIVO	17
3.4 POSTUPAK ISPITIVANJA UZORAKA	24
3.5 REZULTATI.....	26

3.5.1	Smjese MO + ES 95 i SO + ES 95	26
3.5.2	Smjese MO + ED i SO + ED	30
3.6	POSTUPANJE SA UZORCIMA NAKON ISPITIVANJA	33
3.7	ČIŠĆENJE POSUĐA I RADNIH POVRŠINA.....	34
3.7.1	Pranje posuđa.....	34
3.7.2	Čišćenje radnih površina.....	35
ZAKLJUČAK		36
POPIS LITERATURE		37
POPIS PRILOGA.....		38

POPIS SLIKA

Slika 1: Uređaj Pensky-Martens Semi Automatic.....	27
Slika 2: Posuda za odlaganje zauljenog otpada.....	33
Slika 3: Oprano posuđe	34
Slika 4: Čišćenje radnih površina.....	35

POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1: Promjene svojstava smjese MO + ES 95	28
Dijagram 2: Promjene svojstava smjese SO + ES 95.....	29
Dijagram 3: Usporedba rezultata smjesa sa ES 95	29
Dijagram 4: Promjene svojstava smjese MO + ED.....	31
Dijagram 5: Promjene svojstava smjese SO + ED	32
Dijagram 6: Usporedba rezultata smjesa sa ED	32

POPIS TABLICA

Tablica 1: SAE J300 klasifikacija motornih ulja, [6]	9
Tablica 2: Klasifikacija motornih ulja prema API za benzinske (Ottove) motore [1, 8]	10
Tablica 3: Klasifikacija motornih ulja prema API za Diesellove motore [1, 8]	11
Tablica 4: Klasifikacija motornih ulja prema API za dvotaktne motore [1, 8]	11
Tablica 5: ACEA klasifikacija za benzinske i dizelske motore	12
Tablica 6: ACEA klasifikacija za motore s filtrom čestica i katalizatorom	13
Tablica 7: ACEA klasifikacija za teško opterećene dizelske motore	13
Tablica 8: Plamište i klase opasnosti	15
Tablica 9: Postupak pripreme smjese	18
Tablica 10: Primjer određivanja smjese	23
Tablica 11: Postupak ispitivanja uzoraka	24
Tablica 12: Temperature plamišta i gorišta smjese MO + ES 95	26
Tablica 13: Temperature plamišta i gorišta smjese SO + ES 95	28
Tablica 14: Temperature plamišta i gorišta smjese MO + ED	30
Tablica 15: Temperature plamišta i gorišta smjese SO + ED	31

POPIS KRATICA

IV	- indeks viskoznosti
SUI	- (motori) s unutarnjim izgaranjem
SAE	- Society of Automotive Engineers (Američko udruženje inženjera automobilske industrije)
API	- American Petroleum Institute (Američki institut za naftu i petrokemiju)
ACEA	- Association des Constructeurs Européens d'Automobiles (Udruženje europskih proizvođača automobila)
DPF	- Diesel Particle Filter (dizelski filter čestica)
GPF	- Gasoline Particle Filter (benzinski filter čestica)
TWC	- Three way catalyst (trokomponentni katalizator)
SAPS	- Sulphated Ash, Phosphorus, Sulphur (sulfatni pepeo, fosfor, sumpor)
HTHS	- High temperature/High shear rate viscosity (visoka temperatura/brzo smicanje)
SCR	- Selective Catalytic Reduction (sustav za smanjivanje NOx pomoću posebne redukcijske tvari)

SAŽETAK

Zadnja stvar na kojoj bi svaki vozač automobila trebao štedjeti ukoliko želi maksimalno produžiti vijek njegovog motora je motorno ulje. Iznimno važna komponenta za siguran i neometan rad bilo kojeg motora sa unutarnjim izgaranjem je kvalitetno podmazivanje motornih dijelova uljem. Motorna ulja predstavljaju grupu maziva čiji značaj stalno raste s razvojem motorne industrije i čine najveći dio potrošnje maziva. U početku su se za podmazivanje koristila mineralna ulja te biljno ulje (ricinusovo ulje) koje se koristilo za trkaće motore. Zbog sve većeg napretka u pogledu razvoja motora, sve težih zahtjeva na uvjete rada te što duljih intervala izmjene ulja, za podmazivanje su se počela koristiti, a i danas su najviše u uporabi, sintetička te u manjim mjerama i polu-sintetička motorna ulja. U motoru se zbivaju velike temperaturne promjene. Motor mora raditi i pri temperaturama ispod 0 °C, a s druge strane najpovoljnija temperatura u karteru za ulje je iznad 80 °C da bi mogla ispariti vlaga koja se skuplja kao ostatak izgaranja vodika iz goriva. Temperature na ležajima koljenastog vratila i klipnjača su za oko 10 °C iznad temperatura u karteru, dok se klipni prsteni kod većih opterećenja motora ugriju i do 230 °C. Zbog niza razloga gorivo u Ottovim i Dieselovim motorima ne izgara u potpunosti te se jedan dio neizgorenog i/ili djelomično izgorenog goriva probije i u kućište motora gdje se miješa i otapa u motornom ulju. Zbog takvih pojava i gore navedenih temperatura, provjera temperature plamišta te temperature gorišta motornog ulja je od iznimne važnosti.

Ključne riječi:

- Motorno ulje
- Temperatura ulja
- Plamište
- Gorište
- Motorni benzin
- Dizelsko gorivo

SUMMARY

The last thing on which every car driver should save up if he wants maximum extend the life of its engine is motor oil. Very important component for safe and smooth operation of any internal combustion engine is a high-quality lubricating of engine parts with oil. Motor oils represent a group of lubricants whose importance is constantly growing with development of motor industry and they constitute the largest part of lubricant consumption. In the beginning for the lubrication were used mineral oils and vegetable oils (castor oil) which are used for racing engines. Due to increasing advancement in regarding the development of the engine, heavier demands on working conditions and longer oil change intervals, started the use of synthetic, and in smaller measures semisynthetic oils for the lubrication. Synthetic and semi-synthetic oils are still in use. Inside the engine large temperature changes occur. The engine must operate sometimes at a temperature under 0 °C, and on the other side the most favorable temperature in crankcase of oil should be above 80 °C to enable the evaporation of moisture that accumulates as the consequence of the fuel-hydrogen combustion. Temperatures on the crankshaft bearings and connecting rod are about 10 °C above the temperature in crankcase, while the piston rings at higher engine load warm up to 230 °C. For many reasons fuel in Otto and Diesel engines does not burn completely and one part of unburned or partially burned fuel break through into engine casing where it mixes and dissolves in the motor oil. Because of these phenomena and the abovementioned temperature, checking the temperature of the flash point and temperature of fire point of motor oil is extremely important.

Key words:

- Motor oil
- Oil temperature
- Flash point
- Fire point
- Motor gasoline
- Diesel fuel

1 UVOD

Motorna ulja danas predstavljaju jako važnu skupinu mazivih ulja koja razvojem motora s unutarnjim izgaranjem dobivaju sve veći značaj i pažnju, budući da moraju zadovoljiti sve teže zahtjeve u motorima. Svako motorno ulje mora zadovoljiti pet osnovnih zadaća kako bi automobilski motor ispravno funkcionirao, a to su: podmazivanje, odvođenje topline, održavanje kompresije, zaštita od korozije i održavanje čistoće motora.

Glavna tema ovog rada bila je ispitivanje utjecaja razrjeđenja automobilskih sintetičkih i mineralnih motornih ulja dvjema vrstama komercijalnih goriva: motornim benzinom – Eurosuper 95 i dizelskim gorivom – Eurodizelom. Time se simulirao slučaj koji se može dogoditi u motoru, a to je prolazak neizgorenog goriva u kućište motora te miješanje i otapanje u motornom ulju. Razrjeđenje motornih ulja kretalo se u rasponu od 0% do 20% masenog udjela (wt) goriva, a kao parametri za praćenje odabrane su temperature plamišta i gorišta. Prije postupka ispitivanja napravljen je mali uvod u maziva općenito te su detaljno opisane najvažnije podjele ulja za motorna vozila.

2 MAZIVA

Kemijske tvari specifičnih fizikalnih i kemijskih svojstava koje se koriste za podmazivanje nazivaju se mazivima. Maziva su sredstva za smanjivanje trenja između opterećenih površina koje se dodiruju i u međusobnom su relativnom gibanju, čijom se primjenom smanjuje trošenje materijala [1]. Osim za podmazivanje, maziva služe i za smanjenje trošenja strojnih dijelova, za odvođenje topline, te za zaštitu od korozije i stvaranja naslaga i taloga zbog oksidacije i drugih kemijskih promjena.

Osnovna svojstva mazivih tvari [2]:

- Dobra moć omašćivanja (kvašenja, ovlaživanja) mazivih površina,
- Velika adhezija i kohezija,
- Neagresivnost prema materijalima površina koje treba podmazivati,
- Dobra fizikalna i kemijska stabilnost,
- Otpornost na vodu,
- Sposobnost brtvljenja,
- Što manja ovisnost bitnih svojstava o temperaturi, itd..

2.1 Povijesni pregled primjene maziva

Kao prva maziva upotrebljavala su se životinjska i biljna ulja i masti. Korištenjem životinjskih i biljnih masti u svrhu podmazivanja ljudi su još u davna doba spoznali prednosti koje ona donosi. Podmazivanje potječe još od drevnih Egipćana koji su oko 1400. god. prije Krista kao mazivo za podmazivanje osovine svojih kola upotrebljavali smjesu maslinova ulja i vapna što je rezultiralo lakšim kretanjem kola, manjim zagrijavanjem te dužim vijekom trajanja osovine i dijelova kotača [2]. Maslinovo, repičino i kitovo ulje te loj i svinjska mast bile su glavne vrste maziva do druge polovice 19. stoljeća. U drugoj polovici 19. stoljeća počinje prva primjena masti za podmazivanje dobivenih od mineralnih ulja zgušnjavanjem kalcijevim, kalijevim i natrijevim sapunima [1]. Konstantno usavršavanje motora s unutarnjim izgaranjem (SUI) te primjena novih tehnologija za preradu nafte vezala je na sebe i daljnji razvoj mineralnih maziva budući da ona kao takva više nisu mogla zadovoljiti radne uvjete. Tom razvoju uvelike je pridonio razvoj aditiva. Aditivi su dodaci mineralnim uljima koji

imaju sposobnost poboljšavanja već postojećih mazivih svojstava ili se njihovim dodavanjem mogu dobiti neka nova svojstva koja su potrebna za podmazivanje. Zbog potrebe očuvanja okoliša, a i samog zdravlja ljudi, današnja proizvodnja svih vrsta maziva isključuje sastojke štetne za zdravlje i okoliš, a u pojedinim se područjima rabe i biološki razgradiva maziva na osnovi biljnih ulja ili sintetskih esterskih ulja.

2.2 Aditivi

Aditivi, kako je već gore rečeno, dodaju se baznom mineralnom ulju s ciljem poboljšavanja njegovih fizikalnih i kemijskih svojstava. U suštini aditivi nemaju osobine maziva nego se njihovim dodavanjem baznim uljima omogućuje da ona zadovolje sve tražene zahtjeve definirane pojedinim standardima. Dije se na one koji poboljšavaju svojstva baznih ulja pri niskim i/ili visokim temperaturama te na one koji uljima donose nove osobine kao što su antikorozivna svojstva.

Vrste aditiva za poboljšanje motornih mineralnih baznih ulja [1]:

- Aditivi za poboljšavanje indeksa viskoznosti (IV) – jedna od najvažnijih vrsta aditiva, očituju se u smanjenju promjene ovisnosti viskoznosti o temperaturi.
- Aditivi za sniženje točke tečenja (stiništa) – snižavaju najmanju temperaturu na kojoj ulje pokazuje svojstvo tečenja.
- Aditivi protiv korozije i starenja (oksidacijski inhibitori) – usporavaju i umanjuju štetno djelovanje kisika i vode na metalne površine
- Disperzanti i detergentsi – sprječavaju formiranje taloga na metalnim površinama, te neutraliziraju kisele produkte izgaranja.
- Aditivi protiv pjenjenja – sprječavaju pojavu pjene u mazivim uljima, čija pojava može uzrokovati prekid podmazivanja i veću brzinu oksidacije.

2.3 Podjela i vrste maziva

Prema agregatnom stanju razlikuju se tri glavne vrste maziva [3]:

- tekuća maziva (ulje, plin),
- polučvrsta maziva (mazive masti),
- čvrsta maziva.

2.4 Kapljevita maziva (ulja)

2.4.1 Mineralna maziva ulja

U novije vrijeme nazivaju se još i konvencionalnim uljima. Najveći dio (približno 95%, prema [1]) mazivih ulja i masti proizvodi se na osnovi baznih mineralnih ulja dobivenih preradom sirove nafte, a postupkom rafinacije odstranjuju se sve neželjene komponente. Sirova nafta crpi se na različitim mjestima u svijetu, a po svojem sastavu predstavlja fosilnu sirovinu. Razlozi ovako dominantne zastupljenosti maziva na osnovi mineralnih ulja jesu njihova raspoloživost, razvoj rafinacijskih tehnika njihovog dobivanja, dobra svojstva te povoljna cijena proizvodnje.

Prema dominirajućoj zastupljenosti pojedinih ugljikovodika u nafti, one se mogu podijeliti na parafinske, naftenske i mješovite. Preradom parafinskih nafti dobivaju se mineralna bazna ulja parafinske osnove. Dominantni članovi ovih baznih ulja su molekule normalnih (linearnih) parafina, izoparafina i cikloparafina. Prednosti ove vrste nafte su: visoka točka paljenja, visoka oksidacijska i termička stabilnost te visoki indeks viskoznosti, a nedostatak je visoka točka tečenja koja se ipak može poboljšati deparafinacijom i aditivima. Koriste se za proizvodnju motornih, transmisijских, reduktorskih, hidrauličnih i kompresorskih ulja [4].

U naftenskim naftama prevladavaju naftenski ugljikovodici gdje su dominantni članovi cikloparafini ili nafteni. Niska točka tečenja je jedna od važnijih prednosti ovih nafti, dok im je nedostatak znatno niža oksidacijska stabilnost te nizak indeks viskoznosti. Zbog toga se naftenska bazna ulja mogu koristiti za proizvodnju ulja za transformatore, ulja za rashladne kompresore, gumarskih ulja, fluida za obradu metala, za proizvodnju mazivih masti i nekih industrijskih ulja. Zbog niskih indeksa viskoznosti (IV) nisu pogodna za proizvodnju motornih ulja. Poželjno je da bazna mineralna ulja imaju takav sastav kojim se mogu postići zadovoljavajuća ciljana svojstva, odnosno da ne sadrže veći udio aromatskih ugljikovodika zbog niske vrijednosti indeksa viskoznosti-IV, kao ni linearne parafinske ugljikovodike koji lako kristaliziraju i tako povisuju vrijednosti stišta ulja.

Prema tome, poželjni sastojci baznih ulja su izoparafini koji imaju visoke vrijednosti IV, dobra niskotemperaturna svojstva te dobru oksidacijsku stabilnost.

2.4.2 Podjela i vrste sintetskih (sintetičkih) mazivih ulja

Prva sintetska maziva kao zamjena mineralnih pojavila su se početkom 1940-tih kada su njemački znanstvenici zbog nedostatka sirove nafte bili prisiljeni naći drugo rješenje za dobivanje maziva prvenstveno za vojne potrebe. Sintetska maziva ovise o primjeni sintetičkih

baznih ulja, najčešća polazna sirovina je etilen (eten) C_2H_4 . To su umjetno proizvedene tvari gdje se proces proizvodnje provodi ciljano kako bi se dobio željeni sintetski proizvod sa posve određenim svojstvima. Za postizanje konačnog proizvoda, sintetskim mazivima se dodaju posebni aditivi.

Glavne količine sintetskih maziva troše se za podmazivanje kad su radne temperature tolike da se ne mogu upotrijebiti mineralna maziva. Ova maziva obuhvaćaju nekoliko važnih skupina [1-5]:

- Ugljikovodična sintetska maziva,
- Esterska sintetska maziva (sintetska neopoliolna i fosfatna esterksa maziva),
- Sintetska poliglikolna (polieterska),
- Silikonska maziva.

a) **Ugljikovodična sintetska maziva** su najraširenija sintetska maziva. Proizvode se na dva načina, polimerizacijom jednostavnijih ili alkilacijom aromatskih ugljikovodika. Odlične su sirovine za proizvodnju multigradnih ulja zbog svojih dobrih svojstava:

- Visoki IV,
- Niska točka tečenja,
- Niska viskoznost na temperaturama nižim od 30 °C,
- Oksidacijska i termička stabilnost,
- Niža isparljivost od mineralnih ulja iste viskoznosti.

b) **Esterska sintetska ulja** obuhvaćaju diestere dobivene reakcijama dvobazičnih organskih kiselina s monolima. Imaju jako dobra svojstva na niskim temperaturama, te nisku isparljivost zbog čega se često koriste u smjesama s mineralnim uljima za motorna i kompresorska ulja te kao mazive masti za primjenu na niskim temperaturama.

i) **Sintetska neopoliolna esterska maziva** često se upotrebljavaju u smjesama s drugim sintetskim, a i s mineralnim uljima, pa se dobivaju maziva povoljnih i uravnoteženih svojstava, pogodna za primjenu u vrlo širokom području temperatura. U novije vrijeme izrazito se koriste u proizvodnji motornih ulja za mlazne motore te kao komponente sintetskih i polusintetskih automobilskih motornih ulja, zupčaničkih i kompresorskih ulja i mazivih masti.

ii) **Sintetska fosfatna esterska maziva** koriste se kao teško zapaljive tekućine u hidrauličkim sustavima aviona i u industriji gdje postoji opasnost od požara budući da su

mnogo otpornija prema vatri u usporedbi sa mineralnim uljima. Osim nešto nižeg indeksa viskoznosti, ostala su im svojstva dobra. Imaju nisko stinište, kompatibilna su s mineralnim uljima, pa se lako miješaju. Često se rabe za podmazivanje kompresora koji rade na izuzetno visokim temperaturama pri kojima bi se primijenjena mineralna maziva mogla zapaliti i eksplodirati.

c) Sintetska poliglikolna (polieterska) maziva mogu biti topljiva ili netopljiva u vodi. Očituju se time što na visokim temperaturama isparuju bez taloga. Od dobrih svojstava izdvajaju se: povoljna ovisnost viskoznosti o temperaturi, te ne miješanje s mineralnim uljima. Njihova najveća primjena je u hidrauličkim kočnicama motornih vozila. Osim u kočnom sustavu, vodotopljiva se maziva upotrebljavaju u obradbi metala i kao teško zapaljiva hidraulička ulja, dok se netopljiva u vodi upotrebljavaju za podmazivanje zupčanih prijenosnika, kompresora rashladnih postrojenja, ta kao specijalna ulja za hidrauličke pogone.

d) Silikonska maziva odlikuju se vrlo malom ovisnosti viskoznosti o temperaturi. Točka tečenja im je niska, a na niskim temperaturama imaju malu viskoznost. Čak i na vrlo visokim temperaturama pokazuju jako dobru stabilnost prema oksidaciji i djelovanju topline. Osim toga posjeduju još nekoliko dobrih svojstava: kemijski su inertna, nisu otrovna, vatrootporna su i vodoodbojna, te imaju nisku isparljivost. Osnovni nedostatak ovih maziva je mala površinska napetost, zbog čega nisu baš pogodna za podmazivanje jer pretjerano kvase okoliš ležaja, razlijevaju se i ne formiraju dobro prionjivi film maziva. Mala površinska napetost nije jedini nedostatak ovih maziva, osim toga, slabo štite klizne površine od trošenja i trenja, a ta se nepovoljna svojstva ne mogu bitno poboljšati ni dodavanjem aditiva.

Općenito, osnovna je prednost mineralnih maziva u odnosu na sintetska to što su jeftina i mogu zadovoljiti većinu upotrebnih zahtjeva. Glavni nedostatak sintetskih maziva je taj što su čak i nekoliko puta skuplja od mineralnih. No, jesu li sintetska maziva zaista bolja od mineralnih? Na to pitanje jako je teško odgovoriti samo sa "da" ili "ne". Sve vrste sintetskih baznih ulja mogu biti bolji izbor za određene uvjete. Potrebno je prepoznavati one uvjete u kojima se primjena sintetskog ulja isplati i ima smisla. Najveće količine ovih maziva koriste se za podmazivanje kad su radne temperature tolike da se ne mogu upotrijebiti mineralna maziva. Kako bi se i za visoke temperature mogla koristiti jeftinija maziva, danas se sve više radi na proizvodima koji su smjesa sintetskih i mineralnih maziva, a nazivaju se polusintetskim mazivima. Ova vrsta maziva je izrazito važna kad su potrebna maziva niske isparljivosti i visoke postojanosti prema oksidaciji i djelovanju topline [1].

2.5 Klasifikacija ulja za podmazivanje

Za svaku konkretnu primjenu zahtijevaju se drugačija svojstva ulja. Suvremena ulja imaju podugačak niz svojstava te se svako od njih razlikuje u nekom od tih svojstava. Kako korisnici ne bi morali trošiti previše vremena na izbor pravog ulja, mazivima se pridružuju određene oznake koje ih svrstavaju u posebne grupe. Te grupe ili klasifikacije omogućuju ili barem dijelom olakšavaju pravilan odabir i upotrebu maziva. Oznake u klasifikacijama maziva obuhvaćaju mnoga svojstva kao što su mazivnost, viskoznost, otpornost prema temperaturi (visokoj ili niskoj), otpornost na vodu, vlagu, prašinu i drugo. Najvažniji i najutjecajniji klasifikatori motornih ulja u svijetu jesu [6]:

- Society of Automotive Engineers (SAE),
- American Petroleum Institute (API),
- Association des Constructeurs Européens d'Automobiles ili European Automobile Manufacturers Association (ACEA ili EAMA),
- Original Equipment Manufacturer (OEM),
- Japanese Automotive Standards Organization (JASO),
- National Marine Manufacturers Association (NMMA) – udruženje proizvođača vanbrodskih motora i drugi.

2.6 Motorna ulja

Oko 50% ukupne potrošnje maziva otpada na motorna ulja, pa ona predstavljaju najveću grupu maziva, kojima značaj stalno raste paralelno sa razvojem motorne industrije. Moderna motorna ulja su složene otopine baznih ulja i aditiva, a služe za podmazivanje svih pokretnih elemenata motora, a posebno motora s unutarnjim izgaranjem (SUI). Sadrže 5 do 25 vol. % različitih aditiva, pa se znatno razlikuju ovisno o tipu i količini aditiva [5]. Ulje u motoru ima ulogu maziva, sredstva za hlađenje i sredstva za odvođenje nečistoća. U modernim motorima ulja moraju imati radno područje u velikom rasponu temperatura.

Moraju adekvatno podmazivati motor od startne temperature hladnog motora do ekstremno visokih temperatura koje premašuju normalne radne temperature u cilindru. U uvjetima jako visokih opterećenja moraju imati veliku čvrstoću uljnog filma kako ne bi došlo do kontakta metal na metal.

Kako bi automobilski motor ispravno funkcionirao, motorno ulje mora ispuniti pet osnovnih zadataka [5]:

- Podmazivanje – mora smanjiti trenje i trošenje dijelova unutar motora. Tako, za podmazivanje kliznih ležajeva i radilice važna je viskoznost ulja, a za podmazivanje razvoda ventila, bregaste osovine i podizača ventila bitni su aditivi koji se dodaju uljima.
- Odvođenje topline – pored posebnog sustava za hlađenje motora, jednim dijelom u odvođenju topline sudjeluje i motorno ulje. Budući da je ulje u izravnom dodiru sa površinama u motoru koje se najviše zagrijavaju, za razliku od rashladnog sredstva u rashladnom sustavu, izloženo je visokim temperaturama koje izazivaju degradaciju kvalitete ulja. Viskoznost ulja je i ovdje osnovna karakteristika o kojoj ovisi efikasnost odvođenja topline. Manje viskozna ulja bolje odvede toplinu.
- Održavanje kompresije – osim kompresijskih prstena koji su u najvećoj mjeri zaduženi da onemoguće propusnost između klipa i cilindra ovu ulogu preuzima manjim dijelom i samo ulje. Ovom funkcijom ulja osigurava se dobra kompresija u motoru i njegova snaga, minimalno degradiranje ulja u karteru, te neznatno zagađenje okoline.
- Zaštita od korozije – motorna ulja djeluju kao premaz na dijelovima motora, sprječavaju ulazak kisika na njih, a time se smanjuje korozija. Mnogi su razlozi zbog kojih dolazi do pojave korozije na motornim dijelovima, neki od njih su: konstrukcijska rješenja samog motora, kvaliteta materijala pojedinih dijelova, uvjeti rada, kvaliteta primijenjenog goriva i maziva, te redovitost održavanja motora.
- Održavanje čistoće motora – za održavanje čistoće radnih površina motora kao i za neutralizaciju kiselih i korozivnih produkata izgaranja i drugih ostataka, ulju se dodaju detergentski i disperzanti. Pored navedenog, ulje mora spriječiti i stvaranje "hladnog mulja", koji se formira u pothlađenom motoru u uvjetima gradske start-stop vožnje.

2.6.1 Klasifikacija motornih ulja prema viskoznosti (SAE klasifikacija)

Viskoznost kao jedna od najvažnijih osobina mazivih ulja, predstavlja mjeru unutrašnjeg trenja, koja djeluje kao otpor na promjenu položaja molekula pri strujanju tekućina kada na njih djeluje smično naprezanje. Ovo svojstvo uvelike ovisi o temperaturi, te je jedno od

glavnih pokazatelja kvalitete motornog ulja – što se manje mijenja viskoznost s promjenom temperature, ulje je kvalitetnije. Ovisnost viskoznosti mazivih ulja o temperaturi iskazuje se indeksom viskoznosti (IV). Mala brojčana vrijednost IV ukazuje na veliku promjenu viskoznosti s temperaturom, a uz veće vrijednosti IV te su promjene manje. Izborom baze ulja postiže se željena kvaliteta ulja – viskoznost parafinskih ulja najmanje je ovisna o temperaturi [1]. Prvu klasifikaciju motornih ulja prema viskoznosti izradilo je udruženje automobilskih inženjera (SAE) iz SAD-a davne 1911. godine i predstavlja najrašireniji sustav klasifikacije maziva u automobilskoj industriji i prometu.

Prema klasifikaciji SAE motorna maziva ulja dijele se u dvije osnovne skupine [6]:

- Monogradna (sezonska), koja se dijele na zimska (W gradacija) i ljetna,
- Multigradna, koja se koriste tijekom cijele godine.

Zimska ulja – karakterizira ih oznaka W, koriste se kod niskih temperatura. Za ova ulja propisana je maksimalna viskoznost kod niskih temperatura i minimalna viskoznost kod 100 °C [6].

Ljetna ulja – koriste se kod visokih vanjskih temperatura. Za ljetna ulja propisana je minimalna i maksimalna viskoznost kod 100 °C [7].

Multigradna ulja – ulja koja zadovoljavaju kako ljetne tako i zimske uvjete rada. Prednost ove vrste ulja je što se ne moraju mijenjati sa promjenom godišnjih doba. Prema SAE klasifikaciji označavaju se s dvije oznake za monogradna ulja, primjerice: 5W – 40. Navedeno ulje mora zadovoljavati zahtjeve za zimsko monogradno ulje oznake 5W i za ljetno monogradno ulje oznake 40 [7].

Prema navedenoj klasifikaciji definiraju se dvije kategorije viskoznosti motornih ulja [2]:

1. Gradacije označene slovom W definirane su:

- Maksimalnom dinamičkom viskoznosti na niskim temperaturama – ulja moraju osigurati dovoljno nisku viskoznost na niskim temperaturama da bi se motor dovoljno lako pokrenuo i da ulje krene u cirkulaciju nakon pokretanja motora. Viskoznost se određuje prema proceduri ASTM D 2602.
- Najvećom graničnom temperaturom pumpabilnosti – prema ASTM D 3829, koja govori o sposobnosti dobavljanja ulja do uljne pumpe i uspostavljanju odgovarajućeg tlaka motornog ulja u početnoj fazi rada motora, tj. u hladnom startu motora pri niskim temperaturama.

- Minimalnom kinematičkom viskoznosti u mm^2/s na $100\text{ }^\circ\text{C}$ – kad motor postigne normalnu radnu temperaturu mora mu se osigurati dovoljno učinkovito podmazivanje. Mjerenje je normirano prema ASTM D 445.
2. Gradacije koje ne sadrže slovo W definirane su određivanjem kinematičke viskoznosti u mm^2/s na $100\text{ }^\circ\text{C}$ koja se određuje prema normi ASTM D 445. Budući da je ljetnim uljima propisana samo određena kinematička viskoznost na $100\text{ }^\circ\text{C}$, a zimskim uljima definirana je maksimalna dinamička viskoznost pri niskim temperaturama i najveća granična temperatura pumpabilnosti, postoji mogućnost da neko ulje zadovolji zahtjevima više od jedne W gradacije, pa se onda označava najnižom gradacijom. Također, ulje s obzirom na svoju kinematičku viskoznost može zadovoljiti i klasifikacijski parametar ljetnog ulja (bez slova W), primjerice SAE 40, te je takvo ulje multigradno s oznakom npr. 5W – 40.

Tablica 1: SAE J300 klasifikacija motornih ulja, [6]

Gradacija viskoznosti SAE	Niska temperatura CCS, ASTM D 2602		100 $^\circ\text{C}$ ASTM D 445		Granična temperatura pumpabilnosti ASTM D 3829
	mPas najviše	na $^\circ\text{C}$	mm^2/s najmanje	mm^2/s najviše	$^\circ\text{C}$ najviše
0 W	6200	-35	3,8	-	-40
5 W	6600	-30	3,8	-	-35
10 W	7000	-25	4,1	-	-30
15 W	7000	-20	5,6	-	-25
20 W	9500	-15	5,6	-	-20
25 W	13000	-10	9,3	-	-15
20	-	-	5,6	9,3	-
30	-	-	9,3	12,5	-
40	-	-	12,5	16,3	-
50	-	-	16,3	21,9	-
60	-	-	21,9	26,1	-

2.6.2 Klasifikacija prema radnim karakteristikama (API klasifikacija)

Stalno poboljšanje radnih karakteristika ulja za motorna vozila uvjetovalo je uvođenje podjele koju je napravio i prihvaćenom normom propisao američki institut za naftu (API). API klasifikacija dijeli motorna ulja u dvije osnovne skupine: S i C. Skupini S pripadaju ulja za benzinske, a skupini C ulja za dizelske motore. Pritom je napravljena i klasifikacija radnih uvjeta koji se kreću u rasponu od najblažih do najoštrijih. Najblaža ulja su ulja sa minimalnom zaštitom od stvaranja depozita, trošenja i korozije, dok su najoštija ulja za najoštije uvjete rada, sa najvećom zaštitom motora [5].

S obzirom da oština uvjeta rada ovisi najvećim dijelom o konstrukciji motora SUI, prihvaćena su tri odvojena "servisa" [2]:

1. Ottovi motori – najoštiji uvjeti rada: kratke vožnje, gradska (start-stop) vožnja, vožnja kod visokih temperatura, konstantno visoka brzina, te vuča prikolice kod visokih temperatura.
2. Dieselovi motori – najoštiji uvjeti rada: visoki radni tlakovi i prednabijanje, te gorivo bogato sumporom.
3. Dvotaktni motori – uvjeti rada ovise o postotku ulja u mješavini, a najoštiji uvjeti rada odgovaraju najoštijim uvjetima rada za benzinske motore.

Tablica 2: Klasifikacija motornih ulja prema API za benzinske (Ottove) motore [1, 8]

Oznaka servisa API	Režim rada motora, uvjeti primjene i kvaliteta ulja
SA*	Benzinski motori koji rade u vrlo blagim uvjetima i ne zahtijevaju posebnu zaštitu. Odgovara im čisto mineralno ulje bez aditiva.
SB*	Benzinski motori koji rade pod minimalnim opterećenjem te koriste ulje sa malim količinama aditiva protiv trošenja, korozije i oksidacije.
SC*	Za motore proizvedene do 1967. godine – ulja koja sadrže aditive protiv trošenja, korozije i stvaranja taloga kod niskih i visokih radnih temperatura.
SD*	Za motore proizvedene od 1968. - 1970. god. zahtijevaju se ulja koja sadrže aditive za servis SC, ali s višim učinkom za još strože uvjete eksploatacije.

...

SH	Za motore proizvedene od 1993. do 1997. godine, ulja pružaju bolju zaštitu od stvaranja taloga, bolju filtrabilnost i manju sklonost pjenjenju.
SJ	Za motore proizvedene od 1997. do 2001. god.. Primjena u osobnim vozilima, sportskim i lakim gospodarskim vozilima. Može zamijeniti ulje SH kategorije.
SL	Namjena za motore proizvedene od 2001. do 2004. god. Pružaju bolju zaštitu od visoko-temperaturnih taloga i manju potrošnju.
SM	Za motore proizvedene od 2004. do 2010. godine.
SN	Ulja za motore proizvedene do 2011. godine sa boljom zaštitom za klipove pri visokim temperaturama.

Tablica 3: Klasifikacija motornih ulja prema API za Dieslove motore [1, 8]

Oznaka servisa API	Režim rada motora, uvjeti primjene i kvaliteta ulja
CA,CB,CC	Zastarjeli servisi za dizelske motore, od blagih do strogih uvjeta rada.

...

CF-4	Za četverotaktne brzohodne dizelske motore s i bez pretpunjenja proizvedene od 1990. god., posebno su prilagođena za upotrebu u teškim kamionima.
CG-4	Za jako opterećene 4T turbodizelske motore proizvedene od 1995. god. koji rade u uvjetima visokih brzina.
CH-4	Ulja za jako opterećene 4T turbodizelske motore proizvedene od 1998. god.
CI-4	Ulja za turbodizelske motore proizvedene od 2002. godine sa EGR sustavom.
CJ-4	Za jako opterećene turbodizelske motore proizvedene od 2010. godine.

Tablica 4: Klasifikacija motornih ulja prema API za dvotaktne motore [1, 8]

DVOTAKTNI MOTORI	Područje primjene
TA	Mopedi, mali električni generatori, pumpe i ostali zrakom hlađeni motori do 50 cm ³ .
TB	Skuteri, manji motori do 250 cm ³ , ručne pile, mali

TC	izvanbrodski zrakom hlađeni motori.
TD	Motori za vožnju po snijegu, motocikli s motorima >250 cm ³ . Izvanbrodski vodom hlađeni motori.

Bitno je naglasiti da ovaj sustav klasifikacije nije konačan, nego je otvoren za redovito periodično proširivanje, sukladno novim tehnološkim zahtjevima sve složenijih motora SUI, ali i sve većim tehnološkim mogućnostima petrokemijske industrije [2].

2.6.3 ACEA klasifikacija

ACEA (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) predstavlja udruženje europskih konstruktora vozila. Prve ACEA specifikacije za motorna ulja izdane su krajem 1995. godine pod oznakom ACEA European Oil Sequences 1996. Ova klasifikacija dijeli motorna ulja u četiri skupine: A, B, C i E. Skupini A pripadaju ulja za benzinske motore, skupini B ulja za dizelske motore koji rade u blagim uvjetima (osobni automobili), skupina C obuhvaća ulja za motore s katalizatorom i vozila sa filtrom čestica (GPF/DPF) dok se u E skupinu ubrajaju ulja za dizelske motore koji rade u teškim uvjetima (teretna vozila). Svaka od skupina dodatno je podijeljena u podskupine koje se označavaju brojevima ovisno o kvaliteti [7]. Trenutno aktivna klasifikacija je ACEA Oil Sequences 2012. čija je podjela prikazana u sljedećim tablicama [9]:

Tablica 5: ACEA klasifikacija za benzinske i dizelske motore

A/B	Opis
A1/B1	Ulja namijenjena za uporabu u benzinskim i dizelskim motorima osobnih automobila, te u dizelskim motorima lakih dostavnih vozila. Motori ovih vozila su posebno konstruirani za uporabu ulja niske viskoznosti.
A3/B3	Ulja za visokoučinske benzinske i dizelske motore, te za dizelske motore lakih dostavnih vozila sa/bez produženog intervala izmjene, odnosno za teže uvjete rada prema preporukama proizvođača motora.
A3/B4	Ulja za visokoučinske benzinske te za direktno ubrizgavane dizelske motore, ali također odgovara i za kategoriju A3/B3.
A5/B5	Ulja za produžene intervale izmjene u visokoučinskim benzinskim i dizelskim motorima, te u dizelskim motorima lakih dostavnih vozila koji koriste ulja niske viskoznosti i trenja. Ne preporuča se za sve motore.

Tablica 6: ACEA klasifikacija za motore s filtrom čestica i katalizatorom

C	Opis
C1	Ulja za novije motore koji imaju DPF i TWC, koji zahtijevaju ulja manje viskoznosti, jako niskog SAPS-a, te minimalne HTHS viskoznosti od 2,9 mPa s. Uporabom ovog ulja smanjuje se potrošnja.
C2	Svojstvima ista kao i skupina C1 osim što imaju veći udio SAPS-a.
C3	Za visokoučinske motore, te laka dizelska i benzinska vozila koja imaju DPF i TWC, minimalne HTHS viskoznosti od 3,5 mPa s. Ova ulja produžuju vijek DPF-a i TWC-a.
C4	Ova ulja imaju ista svojstva i učinak kao i skupina C3, ali za motore koji zahtijevaju manji udio SAPS-a.

Ova skupina ulja koristi se kod svih vozila koji imaju DPF/GPF s ciljem da aditivi ne bi blokirali rad filtra pepelom.

Tablica 7: ACEA klasifikacija za teško opterećene dizelske motore

E	Opis
E4	Ovo ulje osigurava izrazitu kontrolu čistoće klipa, trošenja, čađe i stabilnosti maziva. Preporuča ga se koristiti za visokoučinske dizelske motore koji zadovoljavaju Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4 i Euro 5 norme i rade pod vrlo teškim uvjetima eksploatacije, npr. značajno produženje intervala izmjene ulja prema preporukama proizvođača motora. Primjenjivo je za motore bez filtra čestica, za neke motore sa EGR-om, te za neke motore sa SCR katalizatorom.
E6	Svojstva vrijede kao i za skupinu E4 osim što zadovoljavaju i Euro 6 normu. Euro 6 norma izričito se preporuča za dizelske motore za filtrom čestica te u kombinaciji sa niskim udjelom sumpora u gorivu.
E7	Pružaju učinkovitu kontrolu čistoće klipa, čađe i stabilnosti maziva. Zadovoljavaju norme kao i skupina E4 te su primjenjiva u motorima koji rade pod vrlo teškim uvjetima eksploatacije, u motorima bez filtra čestica, te za većinu motora sa EGR-om i motora sa SCR katalizatorom.

E9	Pružaju rezultate kao i skupina E7 uz to da ova skupina zadovoljava i normu Euro 6. Ulja E9 skupine izričito se preporučaju za motore sa filtrom čestica u kombinaciji sa gorivom niskog udjela sumpora.
----	--

2.6.4 Ostale klasifikacije

U ostale klasifikacije ubrajaju se [1]:

- Vojne klasifikacije motornih ulja,
- Caterpillar Tractor Co.,
- GB – British Ministry of Defence Specification,
- Industrijske klasifikacije,
- Posebne klasifikacije.

2.7 Plamište i gorište

Točka paljenja ili plamište mazivog ulja je najniža temperatura kod koje dolazi do prvog zapaljenja uljne pare u smjesi sa zrakom pomoću prinesenog plamena u standardiziranom aparatu, a da pri tom ne dolazi do nastavka izgaranja [9]. Daljnjim zagrijavanjem ulja nakon postizanja točke paljenja i stvaranjem dovoljnih količina pare koje će podržati gorenje duže od 5 s ostvaruje se temperatura gorišta koja je za motorna ulja obično 20 – 30 °C viša od temperature plamišta [5]. Temperature plamišta i gorišta za korisnike su od iznimne važnosti kako zbog same kvalitete mazivog ulja tako i zbog sigurnosnih razloga. Naime motornim uljima, za vrijeme korištenja u motoru, s vremenom opadaju vrijednosti plamišta i gorišta što upućuje na razrjeđenje/kontaminaciju ulja gorivom ili nekom drugom tekućinom nižeg plamišta. Općenito, plamišta motornih ulja su iznad 200 °C te kao takva ne predstavljaju opasnost za radne temperature motora (100 – 150 °C [10]), međutim prolaskom određenih količina goriva u ulje dolazi do pada temperature plamišta i gorišta novo-nastale smjese. Ovisno o količini goriva dospjelog u ulje te temperature mogu prijeći i u područje radnih temperatura, pa čak i u jednu od klasa opasnosti koje su prikazane u Tablici 8, prema [10]:

Tablica 8: Plamište i klase opasnosti

Klasa opasnosti	Podskupine	Plamište (P) [°C]	Metoda	Norma
I	I.A	$P < 23\text{ °C}$ ($v < 38\text{ °C}$)	Zatvorena posuda Abel-Pensky	DIN 54155
	I.B	$P < 23\text{ °C}$ ($v > 38\text{ °C}$)		
	I.C	$23\text{ °C} \leq P \leq 38\text{ °C}$		
II	-	$38\text{ °C} < P < 60\text{ °C}$		
III	III.A	$60\text{ °C} \leq P \leq 93\text{ °C}$	Zatvorena posuda Pensky- Martens	DIN 51758
	III.B	$93\text{ °C} < P \leq 100\text{ °C}$		
Bez klase opasnosti	-	$P > 100\text{ °C}$	Otvorena posuda Cleveland	DIN 51375

Oznaka v označava temperaturu vrelišta.

3 EKSPERIMENTALNI DIO

3.1 Uređaji

Za pripremu smjese goriva i ulja korištena je analitička vaga AG204 ($d = 0,1 \text{ mg}$), maksimalne nosivosti 210 g, proizvođača *Mettler* i magnetska miješalica Telesystem 6 tvrtke *Thermo Scientific*. Kontrola temperature uzoraka tijekom ispitivanja postignuta je korištenjem umjerenog termometra do $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ po ASTM-u koji dolazi u sklopu uređaja za ispitivanje. Za određivanje plamišta i gorišta uzoraka iznad $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ korišten je uređaj tvrtke *Walter Herzog*, tip Cleveland-Semi Automatic, s otvorenom posudom, a za temperature ispod $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ korišten je uređaj istog proizvođača, tip Pensky-Martens Semi Automatic, sa zatvorenom posudom. Praćenje atmosferskog tlaka u laboratoriju za vrijeme ispitivanja plamišta i gorišta provedeno je pomoću barometra No. 99060 tvrtke *G. Luft Mess-und regeltechnik*.

3.2 Smjese goriva i mazivih ulja

Za uzorke ulja odabrano je po jedno mineralno i sintetičko ulje poznatog hrvatskog proizvođača INA Maziva. Odabrano mineralno ulje je INA DELTA 5, SAE klasifikacije 15W – 40, dok je za sintetičko ulje odabrano INA ULTRA SINT, SAE klasifikacije 5W – 30.

Kao dva referentna goriva korišteni su komercijalni uzorci motornog benzina i dizelskog goriva: benzin – Eurosuper 95 (ES 95) i dizelsko gorivo – Eurodizel (ED) preuzeti s komercijalnih istakaonica u zimskom periodu. Razlika između zimskog i ljetnog benzina je ta što zimski sadrži više lako hlapivih frakcija da bi se olakšao hladni start motora. U dizelska goriva za zimske uvjete dodaju se dodaci koji poboljšavaju tečenje jer kod nepovoljnog sastava dizelskog goriva već pri $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dolazi do začepjenja cijevi za dovod goriva i filtara [7].

Radi lakšeg snalaženja za vrijeme ispitivanja, smjesama su dodijeljene sljedeće oznake:

1. Mineralno ulje (MO) + ES 95, gdje je:

- 1.1 – MO + 2 wt% ES 95,
- 1.2 – MO + 5 wt% ES 95,
- 1.3 – MO + 10 wt% ES 95,
- 1.4 – MO + 15 wt% ES 95,
- 1.5 – MO + 20 wt% ES 95.

Napomena, prvotno planirana razrjeđenja ulja gorivom bila su sa 2%, 5%, 10% i 20% masenog udjela (wt) goriva. Budući da je smjesa sa 20 wt% goriva imala gorište već na sobnoj temperaturi, dodana je nova smjesa sa 15 wt% goriva.

2. Mineralno ulje (MO) + ED, gdje je:

- 2.1 – MO + 2 wt% ED,
- 2.2 – MO + 5 wt% ED,
- 2.3 – MO + 10 wt% ED,
- 2.4 – MO + 20 wt% ED.

3. Sintetičko ulje (SO) + ES 95, gdje je:

- 3.1 – SO + 2 wt% ES 95,
- 3.2 – SO + 5 wt% ES 95,
- 3.3 – SO + 10 wt% ES 95,
- 3.4 – SO + 15 wt% ES 95.

Napomena, zbog razloga navedenog za smjesu MO + 20 wt% ES 95, kod smjese sa sintetičkim uljem uzorak sa 20 wt% goriva nije se niti razmatrao.

4. Sintetičko ulje (SO) + ED, gdje je:

- 4.1 – SO + 2 wt% ED,
- 4.2 – SO + 5 wt% ED,
- 4.3 – SO + 10 wt% ED,
- 4.4 – SO + 20 wt% ED.




3.3 Postupak pripreme smjese ulje – gorivo





U sklopu ovog rada osim postupka ispitivanja plamišta i gorišta predviđenih smjesa bilo je potrebno razviti i metodologiju namješavanja različitih udjela goriva u motorna ulja.



Za pripremu smjese ulje-gorivo korištene su: mjerne tikvice od 100 ml za ulje, mjerne tikvice od 10 i 50 ml za gorivo, pumpice za preciznije doziranje potrebne količine goriva, te posude (boce) od 250 ml za miješanje ulja i goriva. Svaki uzorak sadržavao je približno 200 ml ulja te određenu količinu goriva u ml ovisno o njegovom traženom postotku.





Detaljan opis namješavanja opisan je u Tablici 9:


Tablica 9: Postupak pripreme smjese

Redni broj	Opis pojedinog koraka	Slika
1.	Pripremiti sve potrebne uzorke za vaganje.	
2.	Postaviti mjernu tikvicu od 100 ml na analitičku vagu te nulirati (poništit) vagu.	
3.	Nasuti prvih 100 ml ulja u mjernu tikvicu te izmjeriti njegovu masu. Izmjerenu masu zapisati u unaprijed pripremljenu tablicu za bilježenje podataka.	 Masa prve doze ulja.

4.	Nakon zapisivanja mase, slijedi prelijevanje ulja iz mjerne tikvice u posudu (bocu) od 250 ml u kojoj će se ono miješati s gorivom.	
5.	Nakon prelijevanja ulja u bocu, ponovo izvagati mjernu tikvicu (ostatak ulja koji se zadržao na stjenkama tikvice), te tu masu oduzeti/zbrojiti sa prije izmjerenom masom ulja kako bi dobili stvarnu masu ulja koja se nalazi u boci.	 Masa preostalog ulja u tikvici.
6.	Ponovo postaviti praznu mjernu tikvicu na vagu te poništiti vagu.	 Nuliranje vage.
7.	Nakon nuliranja vage slijedi ulijevanje drugih 100 ml ulja u tikvicu te vaganje. Ponovo zapisati izmjerenu masu ulja u tablicu.	 Masa druge doze ulja.

8.	Nakon zapisivanja izmjerene mase ulja, prelići drugu dozu ulja u bocu u kojoj se već nalazi prva doza ulja.	<div></div> <p>Ukupna količina ulja jednog uzorka, ≈170 g.</p>																																																							
9.	Ponovo izvagati mjernu tikvicu nakon prelijevanja ulja u bocu kako bi izračunali točnu masu ulja koja je prelivena u bocu sa prvom dozom ulja.	<div></div> <p>Masa preostalog ulja u tikvici.</p>																																																							
10.	Nakon svih obavljenih vaganja slijedi izračunavanje točne mase ulja koja se nalazi u boci.	<div>Datum: 18.01.2017 Ulje: INA DELTA 5 15W-40 Gorivo: EURO DIESEL</div> <table><tr><th>UDORAK</th><th>Masa 1. doze ulja [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]</th><th>Masa 2. doze ulja [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]</th><th>T [g]</th><th>Udio goriva [%]</th><th>Potrebni udio goriva [g]</th><th>Unešena masa goriva u boci [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja goriva [g]</th><th>Unešeni udio goriva [g]</th></tr><tr><td>2.1</td><td>87,3531</td><td>1,7473</td><td>85,7265</td><td>-0,1551</td><td>171,4874</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.2</td><td>85,9369</td><td>-0,0955</td><td>85,9155</td><td>-0,1606</td><td>172,1085</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.3</td><td>86,1179</td><td>0,1649</td><td>85,9432</td><td>-0,0085</td><td>171,9147</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.4</td><td>86,1439</td><td>0,0199</td><td>85,8914</td><td>0,1020</td><td>171,9134</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	UDORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]	T [g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unešena masa goriva u boci [g]	Masa bace nakon uljevanja goriva [g]	Unešeni udio goriva [g]	2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874						2.2	85,9369	-0,0955	85,9155	-0,1606	172,1085						2.3	86,1179	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147						2.4	86,1439	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134					
UDORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]	T [g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unešena masa goriva u boci [g]	Masa bace nakon uljevanja goriva [g]	Unešeni udio goriva [g]																																															
2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874																																																				
2.2	85,9369	-0,0955	85,9155	-0,1606	172,1085																																																				
2.3	86,1179	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147																																																				
2.4	86,1439	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134																																																				
11.	Na temelju izračunatih ukupnih masa ulja u bocama, izračunati potrebnu masu goriva za svaki od predviđenih udjela.	<div>Datum: 18.01.2017 Ulje: INA DELTA 5 15W-40 Gorivo: EURO DIESEL</div> <table><tr><th>UDORAK</th><th>Masa 1. doze ulja [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]</th><th>Masa 2. doze ulja [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]</th><th>T [g]</th><th>Udio goriva [%]</th><th>Potrebni udio goriva [g]</th><th>Unešena masa goriva u boci [g]</th><th>Masa bace nakon uljevanja goriva [g]</th><th>Unešeni udio goriva [g]</th></tr><tr><td>2.1</td><td>87,3531</td><td>1,7473</td><td>85,7265</td><td>-0,1551</td><td>171,4874</td><td>2</td><td>3,4297</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.2</td><td>85,9369</td><td>-0,0955</td><td>85,9155</td><td>-0,1606</td><td>172,1085</td><td>5</td><td>8,6054</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.3</td><td>86,1179</td><td>0,1649</td><td>85,9432</td><td>-0,0085</td><td>171,9147</td><td>10</td><td>17,1915</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>2.4</td><td>86,1439</td><td>0,0199</td><td>85,8914</td><td>0,1020</td><td>171,9134</td><td>20</td><td>34,3827</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	UDORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]	T [g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unešena masa goriva u boci [g]	Masa bace nakon uljevanja goriva [g]	Unešeni udio goriva [g]	2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874	2	3,4297				2.2	85,9369	-0,0955	85,9155	-0,1606	172,1085	5	8,6054				2.3	86,1179	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147	10	17,1915				2.4	86,1439	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134	20	34,3827			
UDORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masa bace nakon uljevanja 2. doze [g]	T [g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unešena masa goriva u boci [g]	Masa bace nakon uljevanja goriva [g]	Unešeni udio goriva [g]																																															
2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874	2	3,4297																																																		
2.2	85,9369	-0,0955	85,9155	-0,1606	172,1085	5	8,6054																																																		
2.3	86,1179	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147	10	17,1915																																																		
2.4	86,1439	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134	20	34,3827																																																		

12.	Postaviti mjernu tikvicu za gorivo na vagu, te nulirati vagu.	 Poništavanje vage.
13.	Pomoću pipete dozirati približno traženu količinu goriva u mjernu tikvicu.	 Doziranje goriva.
14.	Postaviti mjernu tikvicu sa gorivom na vagu te izvagati unesenu količinu goriva.	 Masa unesenog goriva.
15.	Nakon vaganja zabilježiti masu goriva u tablici i potom izliti gorivo u odgovarajuću bocu sa uljem. Postaviti mjernu tikvicu ponovo na analitičku vagu te izvagati dio goriva koji je ostao na stjenkama tikvice.	 Masa preostalog goriva u tikvici.

16.	Preostali dio oduzeti/zbrojiti od ukupne mase goriva kako bi dobili točno unesenu masu goriva u boci.	<div>Datum: 18.01.2017 Ulje: INA DELTA S 15W-40 Gorivo: EURO DIESEL</div> <table><tr><th>UZORAK</th><th>Masa 1. doze ulja [g]</th><th>Masabace nakon odjevanja 1. doze [g]</th><th>Masa 2. doze ulja [g]</th><th>Masabace nakon odjevanja 2. doze [g]</th><th>[g]</th><th>Udio goriva [%]</th><th>Potrebni udio goriva [g]</th><th>Unesena masa goriva u boci [g]</th><th>Masabace nakon odjevanja goriva [g]</th><th>Uneseni udio goriva [g]</th></tr><tr><td>2.1</td><td>87,3531</td><td>1,7473</td><td>85,7265</td><td>-0,1551</td><td>171,4874</td><td>2</td><td>3,4297</td><td>3,4966</td><td>0,1040</td><td>3,3926</td></tr><tr><td>2.2</td><td>85,9389</td><td>-0,0855</td><td>85,9155</td><td>-0,1696</td><td>172,1085</td><td>5</td><td>8,6954</td><td>8,6372</td><td>0,1655</td><td>8,4717</td></tr><tr><td>2.3</td><td>86,1279</td><td>0,1649</td><td>85,9432</td><td>-0,0085</td><td>171,9147</td><td>10</td><td>17,1915</td><td>17,2680</td><td>0,0477</td><td>17,2203</td></tr><tr><td>2.4</td><td>86,1489</td><td>0,0199</td><td>85,8914</td><td>0,1020</td><td>171,9134</td><td>20</td><td>34,3827</td><td>34,4736</td><td>0,0366</td><td>34,4370</td></tr></table>	UZORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masabace nakon odjevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masabace nakon odjevanja 2. doze [g]	[g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unesena masa goriva u boci [g]	Masabace nakon odjevanja goriva [g]	Uneseni udio goriva [g]	2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874	2	3,4297	3,4966	0,1040	3,3926	2.2	85,9389	-0,0855	85,9155	-0,1696	172,1085	5	8,6954	8,6372	0,1655	8,4717	2.3	86,1279	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147	10	17,1915	17,2680	0,0477	17,2203	2.4	86,1489	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134	20	34,3827	34,4736	0,0366	34,4370
UZORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masabace nakon odjevanja 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masabace nakon odjevanja 2. doze [g]	[g]	Udio goriva [%]	Potrebni udio goriva [g]	Unesena masa goriva u boci [g]	Masabace nakon odjevanja goriva [g]	Uneseni udio goriva [g]																																															
2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874	2	3,4297	3,4966	0,1040	3,3926																																															
2.2	85,9389	-0,0855	85,9155	-0,1696	172,1085	5	8,6954	8,6372	0,1655	8,4717																																															
2.3	86,1279	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147	10	17,1915	17,2680	0,0477	17,2203																																															
2.4	86,1489	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134	20	34,3827	34,4736	0,0366	34,4370																																															
17.	Na kraju preostaje još ubaciti magnete u sve uzorke i postaviti ih na magnetni mješalč.	<div></div> <div>Miješati ≈24 h</div>																																																							

Tablica 10: Primjer određivanja smjese




UZORAK	Masa 1. doze ulja [g]	Masa tikvice nakon izlivanja a 1. doze [g]	Masa 2. doze ulja [g]	Masa tikvice nakon izlivanja a 2. doze [g]	Σ [g]	Udi o gori va [%]	Potrebni udio goriva [g]	Uneseni udio goriva u tikvici [g]	Masa tikvice nakon izlivanja a goriva [g]	Stvarni uneseni udio goriva [g]	Stvarni udio goriva [%]
Čisto ulje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.1	87,3531	1,7473	85,7265	-0,1551	171,4874	2	3,4297	3,4966	0,1040	3,3926	1,9783
2.2	85,9369	-0,0955	85,9155	-0,1606	172,1085	5	8,6054	8,6372	0,1655	8,4717	4,9223
2.3	86,1279	0,1649	85,9432	-0,0085	171,9147	10	17,1915	17,2680	0,0477	17,2203	10,0168
2.4	86,1439	0,0199	85,8914	0,1020	171,9134	20	34,3827	34,4736	0,0366	34,4370	20,0316





3.4 Postupak ispitivanja uzoraka

Određivanje temperature plamišta i gorišta za ove uzorke provedeno je na uređaju tvrtke *Walter Herzog*, tip Cleveland-Semi Automatic prema normi DIN ISO 25925.

Detaljan opis ove norme slijedi u Tablici 11.

Tablica 11: Postupak ispitivanja uzoraka

Redni broj	Opis pojedinog koraka	Slika pojedinog koraka
1.	Koristeći barometar, zabilježiti sobni tlak zraka u blizini uređaja za vrijeme ispitivanja.	
2.	Napuniti testnu posudu uzorkom do razine označene na posudi. Ako je dodano previše testnog uzorka koristeći pipetu ili drugi odgovarajući uređaj odstraniti višak smjese. Ako postoje, ukloniti balone ili pjenu sa površine uzorka.	
3.	Upaliti plamen i podesiti ga na optimalnu veličinu.	

4.	<p>Upaliti grijač i opskrbiti tolikom količinom topline da temperatura testnog uzorka indicirana termometrom raste od 14 °C/min do 17 °C/min. Kada je temperatura testnog uzorka približno 56°C ispod očekivanog plamišta, povećati količinu topline tako da temperatura uzorka raste od 5 °C/min do 6 °C/min.</p>	
5.	<p>Približno 25 °C prije očekivanog plamišta prijeći plamenom preko uzorka, te to dalje ponavljati svaka 2 °C dok ne ostvarimo temperaturu plamišta.</p>	
6.	<p>Kao temperaturu plamišta zabilježiti onu temperaturu termometra u trenutku kada je prineseni plamen uzrokovao izrazit bljesak u unutrašnjosti posude.</p>	 <p>Prikaz plamišta.</p>
7.	<p>Za ostvarivanje temperature gorišta, nakon ostvarenog plamišta nastaviti grijati uzorak sa porastom temperature od 5 °C/min do 6 °C/min. Svaka 2 °C prijeći plamenom preko uzorka dok se ostvareno gorenje na površini uzorka ne zadrži najmanje 5 s.</p>	 <p>Prikaz gorišta.</p>

3.5 Rezultati

Dobivene temperature plamišta i gorišta potrebno je prije unosa u dijagrame korigirati prema standardnom tlaku prema jednadžbi:

$$T_C = T_0 + 0,25 \cdot (101,3 - p)$$

gdje je: T_0 – temperatura plamišta/gorišta na sobnom atmosferskom tlaku [°C], a p – sobni atmosferski tlak [kPa]. Budući da su se vrijednosti atmosferskog tlaka tijekom mjerenja u laboratoriju kretale u granicama od 100 do 102 kPa, rezultate nijedne smjese nije bilo potrebno korigirati.

3.5.1 Smjese MO + ES 95 i SO + ES 95

Temperature plamišta i gorišta smjesu MO + ES 95, kao i njihove srednje vrijednosti dane su u Tablici 12, dok su za smjesu SO + ES 95 te vrijednosti prikazane u Tablici 13. Poslije svake tablice prikazan je i pripadajući dijagram srednje temperature plamišta i gorišta u ovisnosti o udjelu goriva, te na kraju dijagram usporedbe smjese sa mineralnim i smjese sa sintetičkim uljem.

Tablica 12: Temperature plamišta i gorišta smjese MO + ES 95

UZORAK	Temp. plamišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 3. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 3. ispit. [°C]	Srednja temp. plamišta [°C]	Srednja temp. gorišta [°C]
Čisto ulje	226	225	-	230	248	227,0	248
1.1 (2%)	212	210	-	219	237	213,5	237
1.2 (5%)	188	189	-	193	226	190	226
1.3 (10%)	105	108	-	124	195	112,5	195
1.4 (15%)	-	97	115	94	112	95,5	113,5
1.5 (20%)	20	20	20	20	20	20	20

Napomena: kada je u postupku s otvorenim lončićem temperatura plamišta bila < 100 °C, pokus je ponavljan metodom sa zatvorenim lončićem. Opis metode i procedura ispitivanja dan je u nastavku...

U postupku sa zatvorenim lončićem korišten je uređaj tvrtke *Walter Herzog*, tip Pensky-Martens Semi Automatic prikazan na Slici 1.



Slika 1: Uređaj Pensky-Martens Semi Automatic

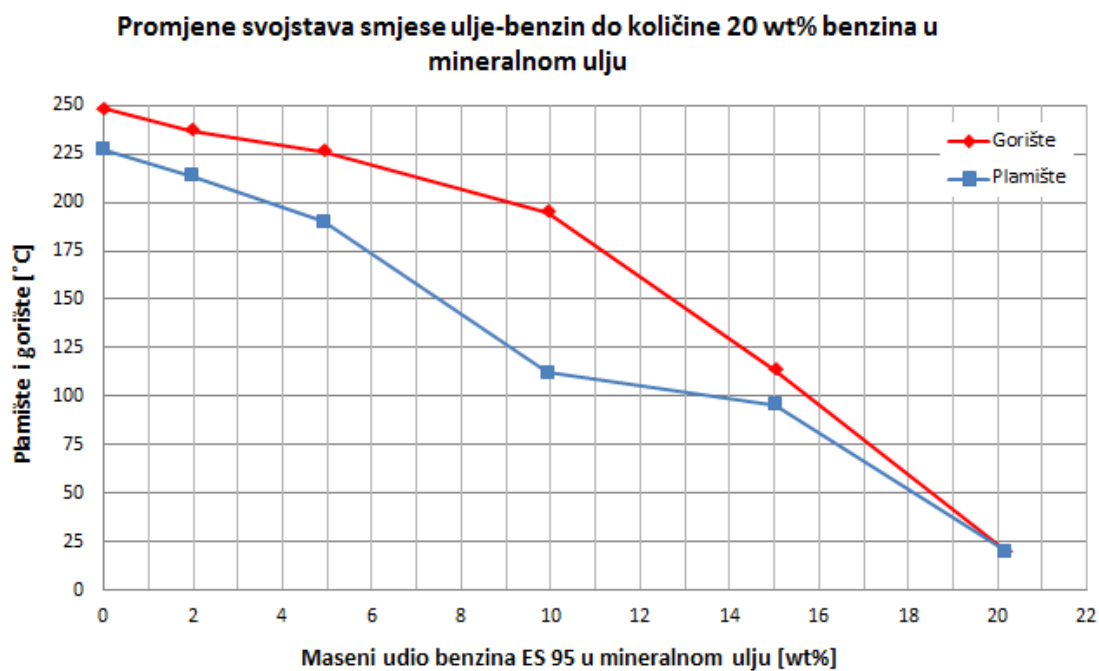
Postupak ispitivanja vrlo je sličan provedenom postupku sa zatvorenim lončićem, kratak opis postupka dan je u slijedećim koracima:

1. Barometrom zabilježiti sobni tlak zraka.
2. Ispuniti testnu posudu do razine označene na posudi, postaviti posudu na uređaj i staviti poklopac. Upaliti i prilagoditi plamen, grijač podesiti tako da temperatura testnog uzorka raste od $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ do $6\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ i održavati tu brzinu grijanja tijekom ispitivanja. Uzorak miješati brzinom 90 r/min do 120 r/min .
3. Približno $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ prije očekivanog plamišta primijeniti prvi prinos plamena, te u nastavku ponavljati svaki $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok ne ostvarimo plamište.
4. Kao temperaturu plamišta zabilježiti onu temperaturu termometra u trenutnu kada je prineseni plamen uzrokovao izrazit bljesak u unutrašnjosti posude.

Rezultati ispitivanja:

- Uzorak 1.4 – temperatura plamišta = $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sobna temperatura)
- Uzorak 3.4 – temperatura plamišta = $23\text{ }^{\circ}\text{C}$

Uzorak 1.5 sa 20 wt% benzina nije niti ispitivan budući da je već uzorak 1.4 imao plamište na sobnoj temperaturi. Gorište u zatvorenom lončiću nije moguće ispitati, a nije niti bilo potrebno jer s ovolikim udjelima goriva, maziva više nisu za uporabu.

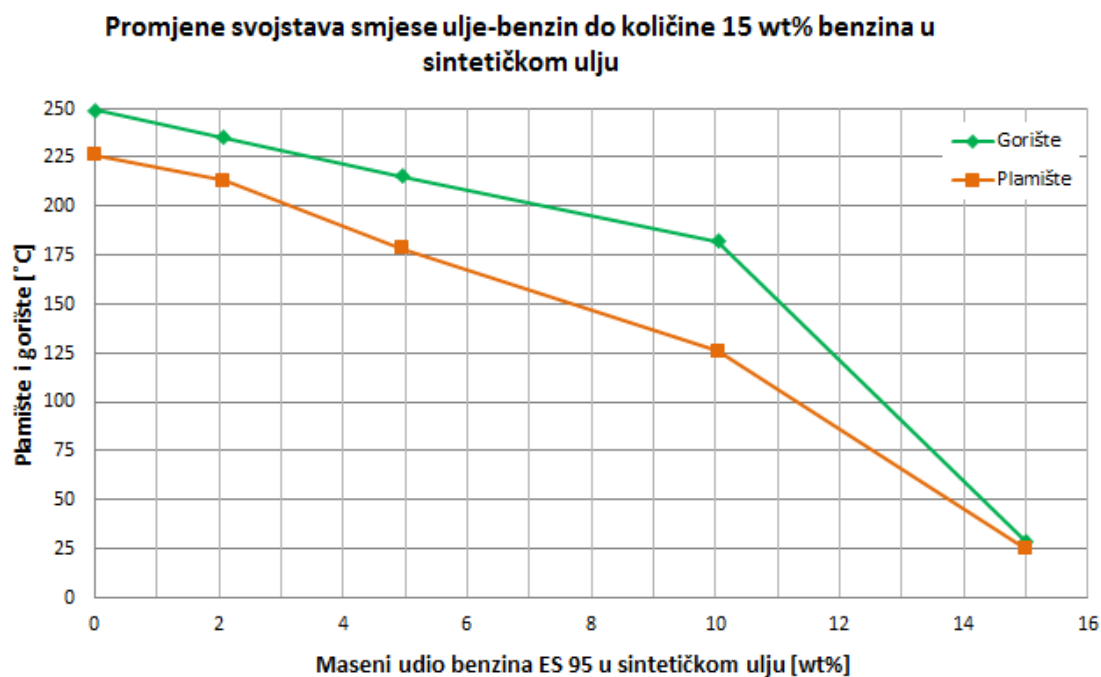


Dijagram 1: Promjene svojstava smjese MO + ES 95

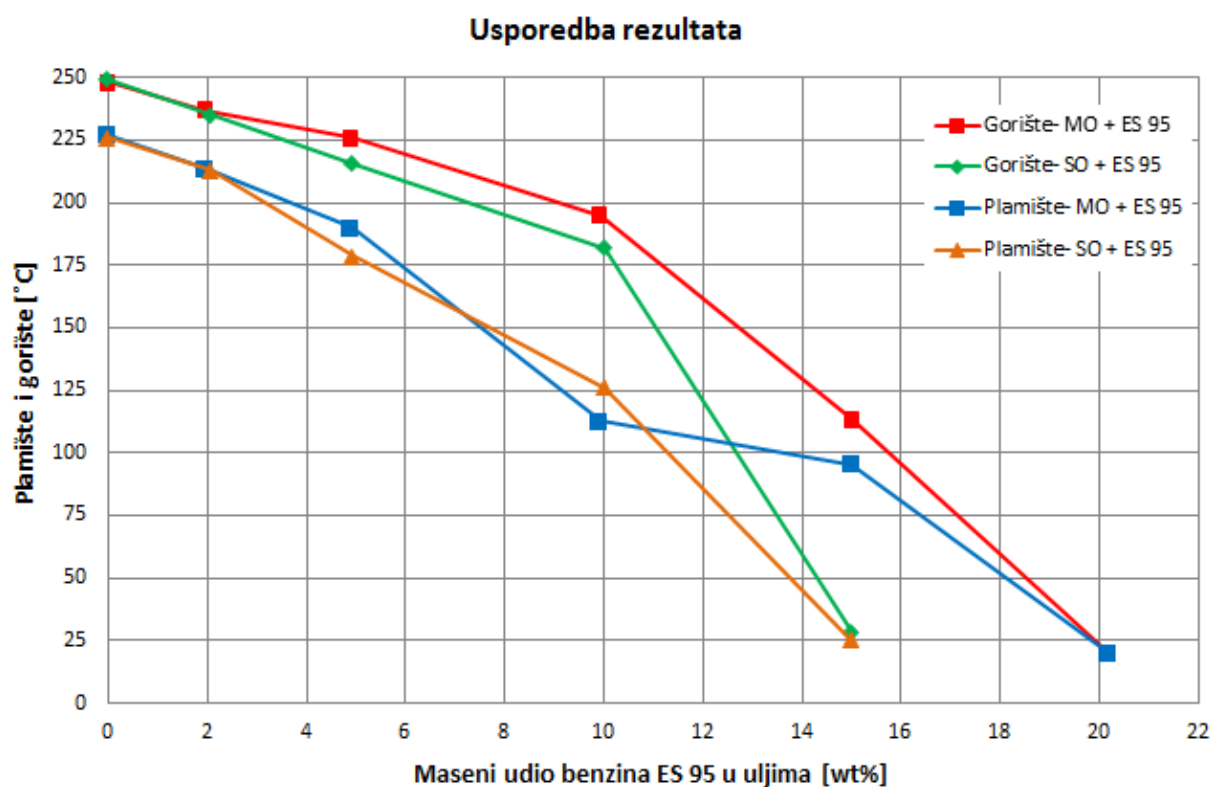
Tablica 13: Temperature plamišta i gorišta smjese SO + ES 95

UZORAK	Temp. plamišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 2. ispit. [°C]	Srednja temp. plamišta [°C]	Srednja temp. gorišta [°C]
Čisto ulje	225	252	227	246	226	249
3.1 (2%)	214	236	212	234	213	235
3.2 (5%)	173	212	184	219	178,5	215,5
3.3 (10%)	129	191	123	173	126	182
3.4 (15%)	27	34	23	23	25	28,5

Napomena: u Tablici 13 za uzorak 3.4 prikazani su rezultati ispitivanja u otvorenom lončiću, budući da je temperatura plamišta <100 °C ti rezultati nisu važeći, te je provedeno ispitivanje sa zatvorenim lončićem, opisano na stranici 27.



Dijagram 2: Promjene svojstava smjese SO + ES 95



Dijagram 3: Usporedba rezultata smjesa sa ES 95

Iz Dijagrama 3 vidljivo je da su temperature gorišta i plamišta gotovo svih smjesa sa mineralnim uljem veće od temperatura gorišta i plamišta smjesa sa sintetičkim uljem. Isto

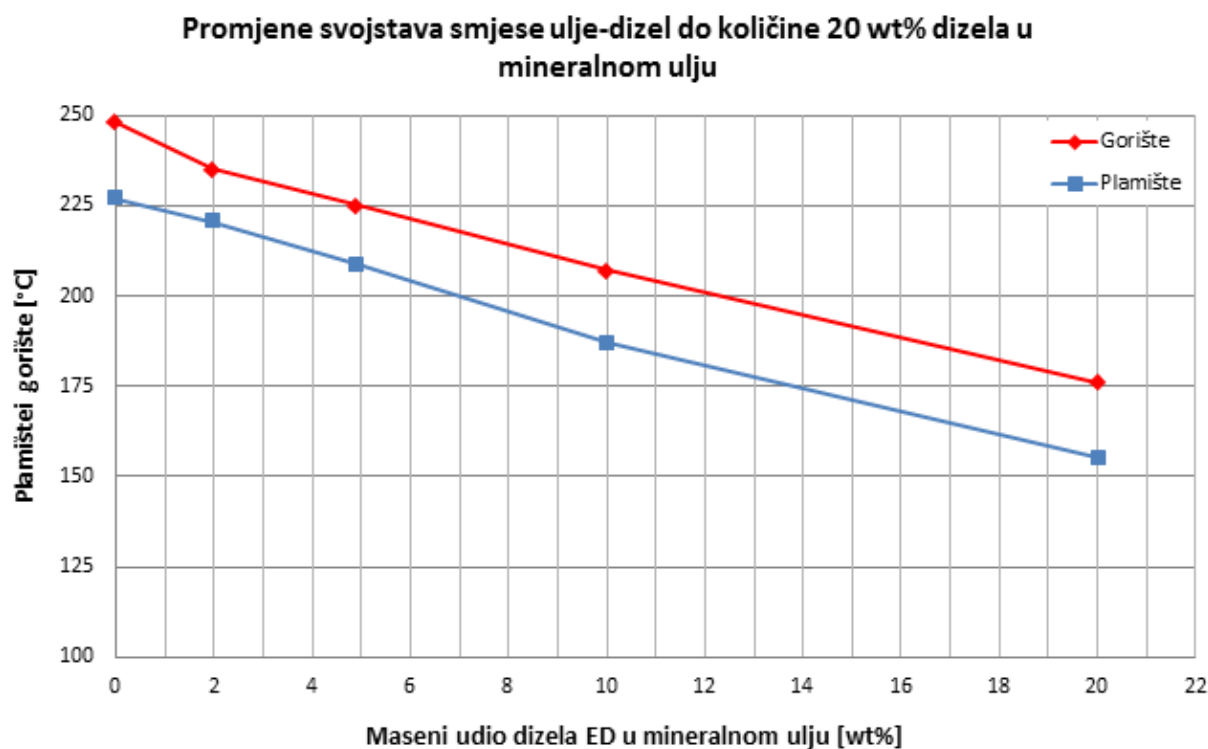
tako vidljivo je da se s povećanjem udjela benzina temperature plamišta i gorišta opadaju, što je i očekivano. Smjese sa 2 i 5 wt% benzina se nalaze iznad svih klasa opasnosti te se mogu još neko vrijeme koristiti u motoru. Plamište obiju smjesa sa 10 wt% benzina je ispod radnih temperatura u motoru (do 150 °C) te tolika količina goriva u ulju nije preporučljiva za uporabu. Smjese sa 15 wt% benzina u ulju izlaze iz područja bez opasnosti i ulaze u područje klase opasnosti III (prema Tablici 8), te je ova količina prevelika za normalnu primjenu maziva u motoru.

3.5.2 Smjese MO + ED i SO + ED

U sljedećim tablicama prikazani su rezultati za smjese mineralnih i sintetičkih ulja sa dizelskim gorivom, a u dijagramima su vidljive promjene temperatura plamišta i gorišta sa promjenom udjela dizelskog goriva.

Tablica 14: Temperature plamišta i gorišta smjese MO + ED

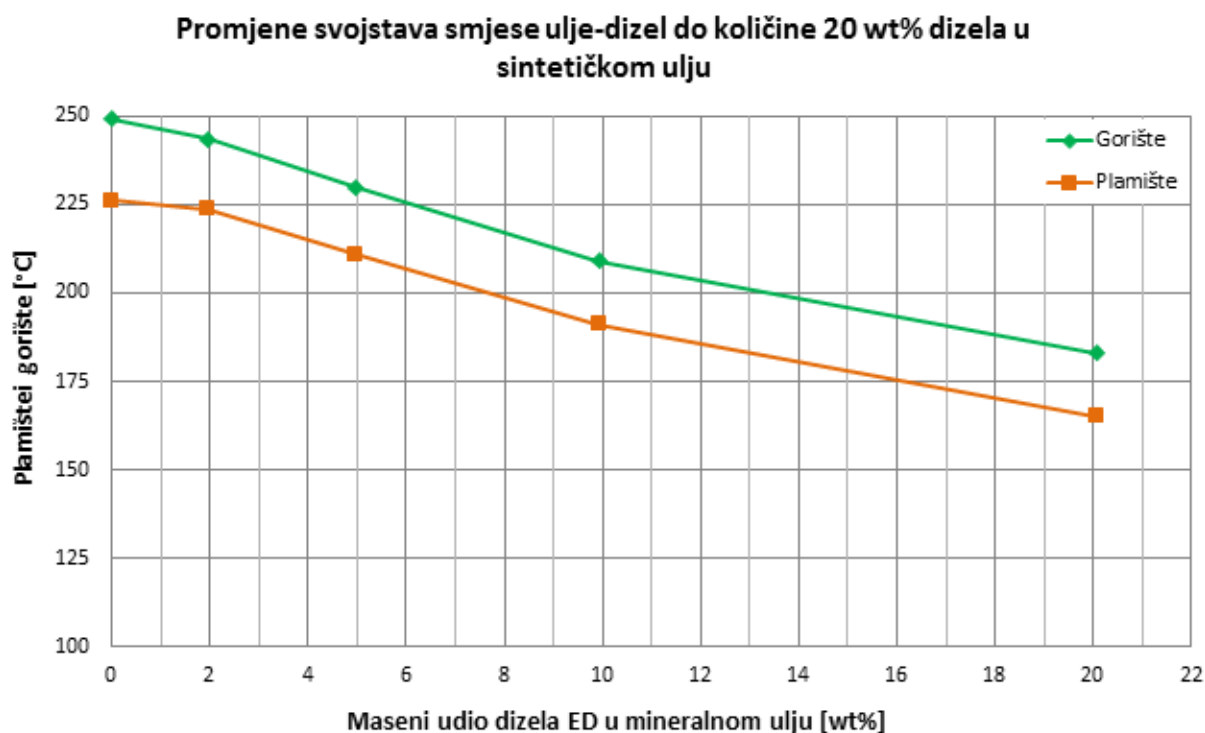
UZORAK	Temp. plamišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 3. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 3. ispit. [°C]	Srednja temp. plamišta [°C]	Srednja temp. gorišta [°C]
Čisto ulje	226	225	-	230	248	227	248
2.1 (2%)	219	219	-	223	235	220,5	235
2.2 (5%)	206	209	-	210	225	208,5	225
2.3 (10%)	187	185	-	189	207	187	207
2.4 (20%)	157	152	-	156	176	155	176



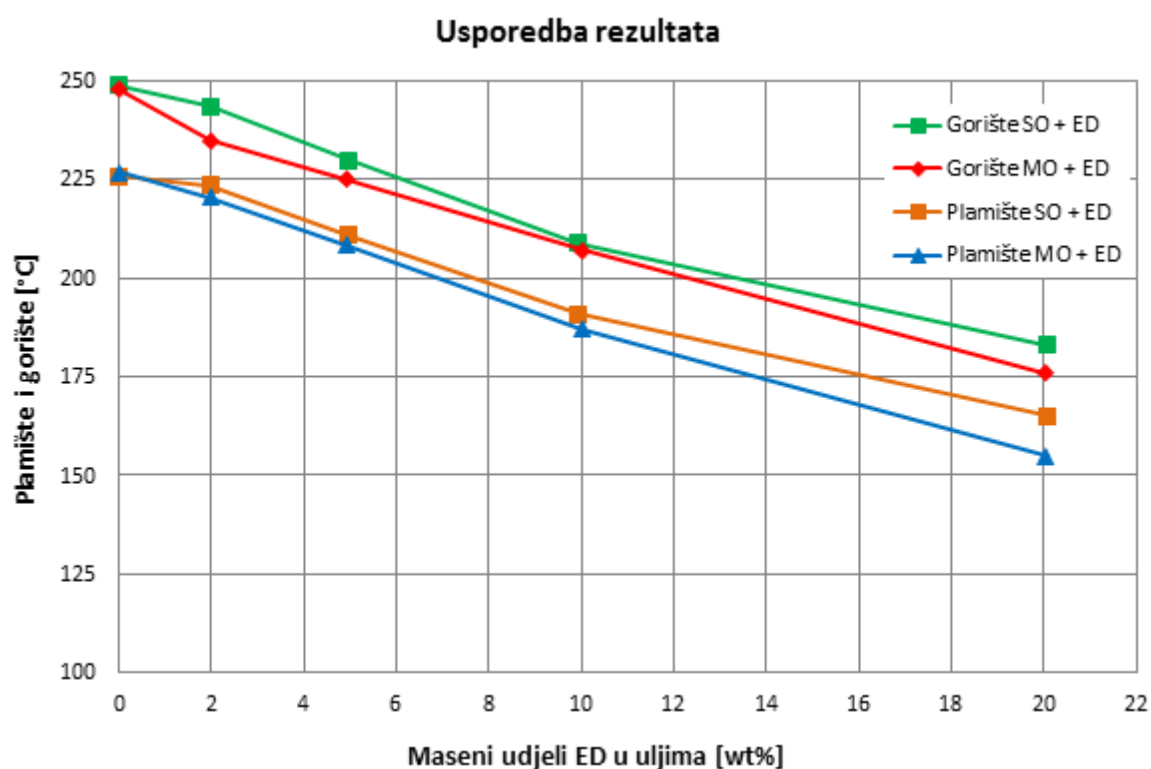
Dijagram 4: Promjene svojstava smjese MO + ED

Tablica 15: Temperature plamišta i gorišta smjese SO + ED

UZORAK	Temp. plamišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 1. ispit. [°C]	Temp. plamišta nakon 2. ispit. [°C]	Temp. gorišta nakon 2. ispit. [°C]	Srednja temp. plamišta [°C]	Srednja temp. gorišta [°C]
Čisto ulje	225	252	227	246	226	249
4.1 (2%)	225	247	222	240	223,5	243,5
4.2 (5%)	209	229	213	231	211	230
4.3 (10%)	190	211	192	207	191	209
4.4 (20%)	166	180	164	186	165	183



Dijagram 5: Promjene svojstava smjese SO + ED



Dijagram 6: Usporedba rezultata smjesa sa ED

Usporedbom rezultata ulja razrijeđenih sa dizelskim gorivom vidljivo je da su oni jako slični, s tim da su ovdje veće temperature kod smjesa sa sintetičkim uljem za razliku od smjesa sa benzinom gdje su rezultati bili obrnuti. Također može se zaključiti da razrjeđenje motornih

ulja ED-om manje utječe na snižavanje plamišta i gorišta nego razrjeđenje sa ES 95. Prema Dijagramu 6, sve smjese sa ED-om nalaze se iznad svih klasa opasnosti što dovodi do zaključka da su čak i motorna ulja sa 20 wt% dizelskog goriva još uvijek primjenjiva u motorima.

3.6 Postupanje sa uzorcima nakon ispitivanja

Budući da otpadna maziva nisu biološki razgradiva, danas je gotovo u svim zemljama zabranjeno bilo kakvo rasipanje iskorištenih maziva u okoliš i propisano je njihovo skupljanje, te se ona u rafinerijama ponovno prerađuju i upotrebljavaju. Bitno je naglasiti ukoliko je regeneracija iskorištenih maziva provedena brižljivo i po propisima, kvaliteta novo-dobivenih proizvoda ne zaostaje za svježim baznim uljima, te se ona mogu koristiti za proizvodnju različitih vrsta maziva.

U skladu s tim, za vrijeme našeg ispitivanja također je provedeno brižljivo odlaganje ispitanih uzoraka. Nakon ispitivanja svakog uzorka potrebno je pričekati 5 – 6 min kako bi se uzorak dovoljno ohladio, te se zatim skladišti u posudu za nauljeni otpad.



Slika 2: Posuda za odlaganje zauljenog otpada

Kada se posuda napuni slijedi njeno prelijevanje u posebnu bačvu (200 L) za skladištenje ove vrste otpada. Nakon što se napuni i bačva, ovlaštenu sakupljač otpadnih ulja dužan je preuzeti otpadna ulja od posjednika bez naknade te ih predati ovlaštenoj tvrtki za uporabu i/ili zbrinjavanje otpadnih ulja.

3.7 Čišćenje posuda i radnih površina

Nakon završetka svih ispitivanja slijedi pranje korištenog posuda te čišćenje svih radnih površina.

3.7.1 Pranje posuda

Kako bi se korišteno posuđe što bolje opralo, pranje je provedeno u pet koraka:

1. Benzin – u svaku od posuda (boce za uje, mjerne tikvice i ostale korištene posude) ulivena je mala količina benzina, budući da je benzin dobro otapali masti, te je protresena kako bi benzin pokupio ostatke ulja.
2. Aceton – nakon ispiranja svih posuda benzinom, slijedi njihovo ispiranje acetonom kako bi aceton pokupio ostatke benzina.
3. Deterdžent i topla voda – treći korak je sapunanje vanjskih i unutrašnjih površina pomoći spužvice i četke za sapunanje. Nakon toga slijedi ispiranje toplom vodom.
4. Destilirana voda – kako bi se spriječila pojava kamenca na posudama, nakon ispiranja toplom vodom posude su ponovno proprane toplom vodom.
5. Nitratna (dušična) kiselina – zadnji korak je to sve potopiti u 5 – 10 %-tnu dušičnu kiselinu i ostaviti tako 24 sata.

Napomena: Količine benzina i acetona koje su korištene u svrhu pranja također su pravilno skladištene u posebne posude.



Slika 3: Oprano posuđe

3.7.2 Čišćenje radnih površina

Tijekom pripreme uzoraka za ispitivanje te za vrijeme ispitivanja radne površine su na nekim mjestima ostale zauljene. Kako bi se i radne površine vratile u prvotno stanje, čišćenje je provedeno u dva koraka:

1. Čišćenje acetonom – na svaki dio površine koji je zamazan uljem izlivena je mala količina acetona te je pomoću krpe i kružnih pokreta ruke očišćena svaka mrlja na radnoj površini.
2. Deterdžent i topla voda – kako bi se sa radnih površina odstranio neugodan miris acetona, a i ostatak mrlja koje nisu uzrokovane uljem, sve radne površine su detaljno nasapunane pomoću deterdženta i spužve.



Slika 4: Čišćenje radnih površina

ZAKLJUČAK

U ovome radu promatrana su dva parametra bitna za ocjenu stanja mazivog motornog ulja tijekom korištenja u motoru: plamište i gorište ulja. Ispitivanja su provedena sa dva motorna ulja hrvatskog proizvođača INA Maziva, mineralno ulje INA DELTA 5 SAE klasifikacije 15W – 40 i sintetičko ulje INA ULTRA SINT SAE klasifikacije 5W – 30 koja su razrjeđivana sa motornim benzinom i dizelskim gorivom. Rezultati dobiveni ispitivanjem upućuju na sljedeće zaključke:

1. Svim uljima opadaju plamište i gorište uz dodavanje benzina ili dizelskog goriva. Ulja razrijeđena sa ED-om puno manje mijenjaju svoje temperature plamišta i gorišta, a razlog je u tome što čisti ED ima puno veće plamište u odnosu na čisti ES 95.
2. Gorišta svih ulja razrijeđenih sa svim gorivima do 5 wt% goriva izlaze iz svih klasa opasnosti, a iznad su i maksimalne očekivane radne temperature u motoru, što znači da su još uvijek prikladna za uporabu.
3. Obje smjese sa 10 wt% benzina imaju temperaturu plamišta ispod očekivanih radnih temperatura motora (150 °C) te se ova količina goriva u motornom ulju ne preporuča za daljnje korištenje.
4. Sve ostale smjese s benzinom nisu prikladne za korištenje jer se nalaze u nekoj od klasa opasnosti te mogu uzrokovati neželjene posljedice u motoru.
5. Plamište i gorište smjesa razrijeđenih sa 10 wt% dizelskog goriva nalaze se iznad očekivanih radnih temperatura motora te ne predstavljaju opasnost za upotrebu, dok smjese sa 20 wt% ovog goriva imaju plamište jako blizu radnih temperatura motora te mogu još neko vrijeme biti prikladna za upotrebu.
6. Ispitivanje plamišta i gorišta motornog ulja nije toliko zahtjevan proces (niti financijski niti fizički), a može dati dosta dobar uvid u stanje motora vašeg vozila!

POPIS LITERATURE

- [1] D. Ljubas, *Gorivo i mazivo – Podloge s predavanja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2012
- [2] Đ. Šilić, V. Stojković, D. Mikulić: *Goriva i maziva*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, 2012.
- [3] I. Legiša, *Podmazivanje i maziva*, Tehnička enciklopedija, R. Podhorsky, H. Požar, D. Štefanović (ur.), Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", Zagreb, 1963.-1997., str. 443-458
- [4] <http://www.maziva.org/podmazivanje/maziva/bazna-ulja/mineralna-bazna-ulja/>
- [5] J. Verčon (ur.), *Tehnologija i ispitivanje maziva*, JUGOMA - Maziva i Podmazivanje, Savez jugoslavenskih društava za primjenu goriva i maziva, Zagreb, 1986.
- [6] R. Mandaković, J. Bambić, Đ. Ivančević, K. Nahal, B. Novina, Lj. Pedišić, M. Picek, M. Podobnik, *Klasifikacije i specifikacije maziva i srodnih proizvoda*, Hrvatsko društvo za goriva i maziva, Zagreb, 2005.
- [7] R. Michell, *Which oil?*, Veloce Publishing, Dorchester, 2012.
- [8] http://www.api.org/~media/Files/Certification/Engine-Oil-Diesel/Publications/MOTOR_OIL_GUIDE_120116_FINAL_WEB.pdf (pristup 19.2.2017.)
- [9] www.infineum.com/media/16389/acea-2012-oil-sequences.pdf (pristup 19.2.2017.)
- [10] D. Ljubas, H. Krpan, I. Matanović, Utjecaj razrjeđenja motornih ulja gorivom na njihovu viskoznost, plamište i gorište, *Nafta* 61(2), 2010., str. 73 – 84.

POPIS PRILOGA

[1] CD-R